

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-258733

(43)Date of publication of application : 12.09.2003

(51)Int.Cl.

H04B 10/04
G02F 1/01
G02F 1/03
G02F 1/035
H04B 10/02
H04B 10/06
H04B 10/142
H04B 10/152
H04B 10/18

(21)Application number : 2002-361046

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 12.12.2002

(72)Inventor : NAKAMURA TAKUYA
KANI JUNICHI
TEJIMA MITSUHIRO
TAKACHIO NOBORU

(30)Priority

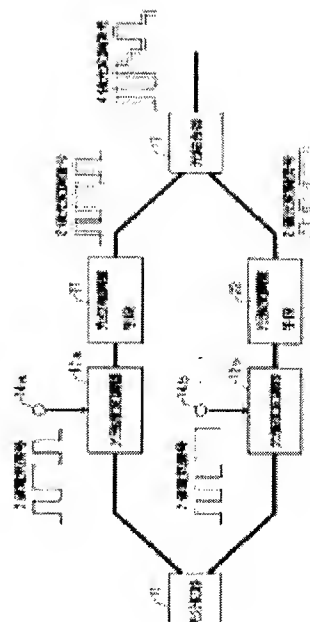
Priority number : 2001397004 Priority date : 27.12.2001 Priority country : JP

(54) MULTILEVEL LIGHT INTENSITY MODULATION CIRCUIT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress the amplitude distortion of a plurality of intermediate level values caused by conversion from a multilevel electric signal to a multilevel optical modulated signal.

SOLUTION: The multilevel light intensity modulation circuit is provided with a light distribution means for distributing an optical carrier wave to (n) sequences, (n) light intensity modulators for respectively modulating the intensity of optical carrier waves of the (n) sequences with (n) binary electric signals and outputting the binary optical modulated signals of (n) sequences, optical



phase adjusting means for matching the phases of the optical carrier waves of the (n) sequences distributed by the light distribution means or of the binary optical modulated signals of the (n) sequences outputted from the (n) light intensity modulators, a light intensity adjusting means for setting the light intensity of the optical carrier waves of the (n) sequences distributed by the light distribution means or of the binary optical modulated signals of the (n) sequences outputted from the (n) light intensity modulators approximately to $1:2:\dots:2^{n-1}$, and a photocoupling means for coupling the binary optical modulated signals of the (n) sequences obtained bvia the optical phase adjusting means and the light intensity adjusting means for outputting a 2^n -level optical modulated signal.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-258733

(P2003-258733A)

(43) 公開日 平成15年9月12日 (2003.9.12)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テームコード* (参考)

H 0 4 B 10/04

G 0 2 F 1/01

B 2 H 0 7 9

G 0 2 F 1/01

C 5 K 1 0 2

F

1/03

5 0 2

1/03

5 0 2

5 0 5

審査請求 有 請求項の数13 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-361046(P2002-361046)

(22) 出願日 平成14年12月12日 (2002. 12. 12)

(31) 優先権主張番号 特願2001-397004(P2001-397004)

(32) 優先日 平成13年12月27日 (2001. 12. 27)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成14年8月20日
社団法人電子情報通信学会発行の「電子情報通信学会
2002年ソサイエティ大会講演論文集」に発表

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 中村 卓也

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 可児 淳一

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外2名)

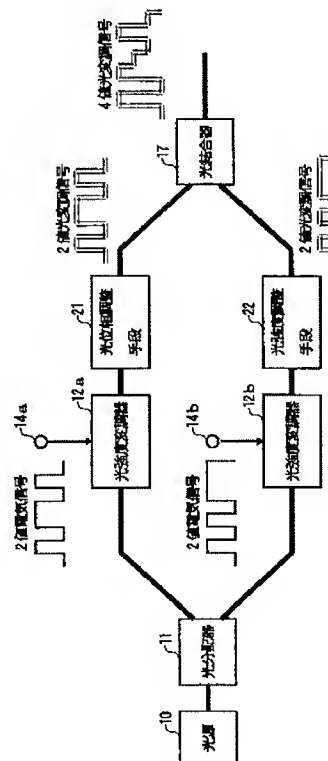
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多値光強度変調回路

(57) 【要約】

【課題】 多値電気信号から多値光変調信号に変換する際に生じていた複数の中間レベル値の振幅歪みを抑圧する。

【解決手段】 光搬送波をn系列に分配する光分配手段と、n系列の光搬送波をn個の2値電気信号でそれぞれ強度変調し、n系列の2値光変調信号を出力するn個の光強度変調器と、光分配手段で分配されたn系列の光搬送波またはn個の光強度変調器から出力されたn系列の2値光変調信号の位相を合わせる光位相調整手段と、光分配手段で分配されたn系列の光搬送波またはn個の光強度変調器から出力されるn系列の2値光変調信号の光強度をほぼ $1:2:\dots:2^{n-1}$ に設定する光強度調整手段と、光位相調整手段および光強度調整手段を介して得られるn系列の2値光変調信号を結合し、 2^n 値光変調信号を出力する光結合手段とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力される光搬送波を n 系列 (n は 2 以上の整数) に分配する光分配手段と、
 前記 n 系列の光搬送波がそれぞれ入力される n 個の光強度変調器であって、各光強度変調器は、入力される 2 値電気信号により前記光搬送波を強度変調して 2 値光変調信号を出力するものである光強度変調器と、
 前記 n 個の光強度変調器から出力される n 系列の 2 値光変調信号間に光位相差を与える光位相調整手段と、
 前記 n 個の光強度変調器から出力される n 系列の 2 値光変調信号間にそれぞれ光強度差を与える光強度調整手段と、
 前記光位相調整手段および前記光強度調整手段を介して得られる n 系列の 2 値光変調信号を結合し、 2^n 値光変調信号を出力する光結合手段とを備え、
 前記光位相差、前記光強度差は、前記 2^n 値光変調信号を生成するためにあらかじめ設定されるものである多値光強度変調回路。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の多値光強度変調回路において、
 前記光位相調整手段は、少なくとも 1 つの前記 n 個の光強度変調器の入力側に置かれる多値光強度変調回路。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の多値光強度変調回路において、
 前記光位相調整手段は、少なくとも 1 つの前記 n 個の光強度変調器の出力側に置かれる多値光強度変調回路。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の多値光強度変調回路において、
 前記光強度調整手段は、少なくとも 1 つの前記 n 個の光強度変調器の入力側に置かれる多値光強度変調回路。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の多値光強度変調回路において、
 前記光強度調整手段は、少なくとも 1 つの前記 n 個の光強度変調器の出力側に置かれる多値光強度変調回路。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の多値光強度変調回路において、
 前記光強度調整手段は、 $(n-1)$ 系列の入力光の光強度を $1/2$, $1/4$, \dots , $1/2^{n-1}$ に減衰させる構成である多値光強度変調回路。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の多値光強度変調回路において、
 $n=2$ であり、
 前記光分配手段の光強度分配比が $1:1$ であり、
 前記光強度調整手段は、2 系列の 2 値光変調信号間の光強度比を $2:1 \pm 8\%$ に設定するものであり、
 前記光位相調整手段により、2 系列の 2 値光変調信号間の光位相差を 90 度 $\pm 3\%$ に設定するものであり、
 前記光結合手段は前記 2 系列の 2 値光変調信号を結合して 4 値光変調信号を生成する構成である多値光変調回路。

【請求項 8】 請求項 1 に記載の多値光強度変調回路において、ニオブ酸リチウム (LN) 基板上に集積して形成するとともに、前記光強度変調器としてマッハツェンダ型光強度変調器を用いた多値光強度変調回路。

【請求項 9】 入力される光搬送波を n 系列 (n は 2 以上の整数) に分配する光分配手段と、
 前記 n 系列の光搬送波がそれぞれ入力される n 個の光強度変調器であって、各光強度変調器は、入力される 2 値電気信号により前記光搬送波を強度変調して 2 値光変調信号を出力するものである光強度変調器と、
 前記 n 個の光強度変調器から出力される n 系列の 2 値光変調信号間に光位相差を与える光位相調整手段と、
 前記光位相調整手段を介して得られる n 系列の 2 値光変調信号を結合し、 2^n 値光変調信号を出力する光結合手段とを備え、
 前記光分配手段の分配比および前記光結合手段の結合比、および前記光位相差は、前記 2^n 値光変調信号を生成するためにあらかじめ設定されるものである多値光強度変調回路。

【請求項 10】 請求項 9 に記載の多値光強度変調回路において、
 前記光位相調整手段は、少なくとも 1 つの前記 n 個の光強度変調器の入力側に置かれる多値光強度変調回路。

【請求項 11】 請求項 9 に記載の多値光強度変調回路において、
 前記光位相調整手段は、少なくとも 1 つの前記 n 個の光強度変調器の出力側に置かれる多値光強度変調回路。

【請求項 12】 請求項 9 に記載の多値強度変調回路において、
 $n=2$ であり、
 前記光分配手段の光強度分配比は $a:1$ であり、
 前記光結合手段の光強度結合比は $b:1$ であり、
 $a \cdot b = 2 \pm 8\%$ を満たし、
 2 つの前記 2 値強度変調手段のいずれかの入力側か出力側に前記光位相調整手段が配置され、該光位相調整手段は 2 系列の前記 2 値光変調信号間の光位相差を 90 度 $\pm 3\%$ に設定するものであり、
 前記光結合手段は前記 2 系列の 2 値光変調信号を結合して 4 値光変調信号を生成する構成である多値光変調回路。

【請求項 13】 請求項 9 に記載の多値光強度変調回路において、ニオブ酸リチウム (LN) 基板上に集積して形成するとともに、前記光強度変調器としてマッハツェンダ型光強度変調器を用いた多値光強度変調回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、多値光変調信号を生成する多値光強度変調回路 (もしくは装置) に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信システムにおける伝送容量の増大要求により周波数利用効率の向上が望まれている波長多重伝送方式では、複数の波長チャネルを狭間隔に配置するための光スペクトルの帯域抑圧が重要な課題になっている。これを解決する手段として、信号を多値にし、その分ビットレートを下げることによりスペクトル広がりを抑圧する方法がある。例えば、振幅レベルを 2^n 個設定して信号を伝送する場合、従来の 2 値光強度変調方式と比較して、ビットレートが $2/2^n$ で同じ情報量を伝送でき、スペクトル帯域も約 $2/2^n$ 倍に抑圧することができる。

【0003】図 7 に、従来の多値（ここでは 4 値）光強度変調回路の構成例（光源 66 は回路には含まれない）を示す（以下の、非特許文献 1 参照）。図 7 において、2 つの入力端子 61、62 には、それぞれ等しいパワーの 2 値電気信号が入力される。この一方の 2 値電気信号のパワーを減衰器 63 で $1/2$ に減衰させて結合器 64 で結合することにより、4 値電気信号を生成する。この 4 値電気信号を光強度変調器 65 に印加し、光源 66 から出力された光搬送波を強度変調することにより、4 値光変調信号が生成される。

【0004】図 8 (a) ~ (d) に、2 つの 2 値電気信号から 4 値電気信号、4 値光変調信号を生成させるシミュレーション例における、各信号のアイパターンを示す。図 8 (a)、(b) に示す 2 つの 2 値電気信号が、図 7 に示すようなシステムにより電氣的に結合され、図 8 (c) に示す 4 値電気信号が得られ、これを用いて光搬送波の強度変調を行うことにより図 8 (d) に示すような 4 値光変調信号が得られる。

【0005】上記およびその他の先行技術文献情報として、以下のものを挙げるが、このうち、特許文献 1 および 2 は、後述する「課題を解決するための手段」の説明において、本発明の具体的な構成との対比として説明するものとする。また、非特許文献 2 は、後述する実施形態に関し、マッハツェンダ型干渉計のような可変減衰器を用いる構成の従来参照例として挙げるものである。

【0006】

【非特許文献 1】ウォークリン (S. Walklin) 他著、「テンジービーエス・フォーアレイ・エーエスケ・ライトウェイブ・システム (A 10Gb/s 4-ary ASK Lightwave System)」, EOC97 会議録, (英国), IEEE, 1997 年 9 月, 第 448 号, p. 255-258

【特許文献 1】特開昭 63-5633 号公報

【特許文献 2】特開平 10-209961 号公報

【非特許文献 2】ハットリクニノリ (Kuninori Hattori) 他著, 「ピーエルシーベースド オプティカル・アド／ドロップスイッチ ウィズ オートマチック・レベルコントロール (PLC-Based Optical Add/Drop Switch with Automatic Level Control)」, ジャーナル・オブ・ライトウェイブ・テクノロジー (Journal of Lightwa

ve Technology), (米国), IEEE, 1999 年 12 月, 第 17 巻, 第 12 号, p. 2562-2571

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、光強度変調器 65 としてマッハツェンダ型光強度変調器が広く用いられているが、このマッハツェンダ型光強度変調器を 2 値強度変調に用いた場合の応答特性を図 9 (a) に示す。図から明らかなように、2 値電気信号のマーク

(1) およびスペース (0) レベルの振幅歪みが抑圧され、良好な 2 値光変調信号が得られる。しかし、4 値電気信号により光搬送波の強度変調を行うと、図 9 (b) に示すように、レベル 0 およびレベル 3 の振幅歪みは抑圧されるものの、レベル 1 およびレベル 2 の振幅歪みが拡大する問題がある。

【0008】さらに、マッハツェンダ型光強度変調器の応答特性が非線形であるので、4 値光変調信号の各レベル間隔を均等にするためには、予めレベル 1 とレベル 2 の間隔を狭めた 4 値電気信号を生成する必要がある。これは 4 値以上の多値電気信号により強度変調を行う場合も同様であり、中間レベルのレベル間隔設定および振幅歪みの問題が避けられない。この発明は上述した事情に鑑みてなされたもので、多値電気信号から多値光変調信号に変換する際に生じていた複数の中間レベル値の振幅歪みを抑圧することができる多値光強度変調回路を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】従って本発明は、入力される光搬送波を n 系列 (n は 2 以上の整数) に分配する光分配手段と、前記 n 系列の光搬送波がそれぞれ入力される n 個の光強度変調器であって、各光強度変調器は、入力される 2 値電気信号により前記光搬送波を強度変調して 2 値光変調信号を出力するものである光強度変調器と、前記 n 個の光強度変調器から出力される n 系列の 2 値光変調信号間に光位相差を与える光位相調整手段と、前記 n 個の光強度変調器から出力される n 系列の 2 値光変調信号間にそれぞれ光強度差を与える光強度調整手段と、前記光位相調整手段および前記光強度調整手段を介して得られる n 系列の 2 値光変調信号を結合し、 2^n 値光変調信号を出力する光結合手段とを備え、前記光位相差、前記光強度差は、前記 2^n 値光変調信号を生成するためにあらかじめ設定されるものである多値光強度変調回路を提供する。

【0010】前記光位相調整手段は、少なくとも 1 つの前記 n 個の光強度変調器の入力側もしくは出力側に置いて良い。前記光強度調整手段もまた、少なくとも 1 つの前記 n 個の光強度変調器の入力側もしくは出力側に置いて良い。典型例として、前記光強度調整手段は、 $(n-1)$ 系列の入力光の光強度を $1/2, 1/4, \dots, 1/2^{n-1}$ に減衰させる構成である。

【0011】更に典型例として、 $n=2$ であり、前記光分

配手段の光強度分配比が1:1であり、前記光強度調整手段は、2系列の2値光変調信号間の光強度比を $2:1 \pm 8\%$ に設定するものであり、前記光位相調整手段により、2系列の2値光変調信号間の光位相差を $90 \pm 3\%$ に設定するものであり、前記光結合手段は前記2系列の2値光変調信号を結合して4値光変調信号を生成する構成である。

【0012】本発明はまた、入力される光搬送波をn系列(nは2以上の整数)に分配する光分配手段と、前記n系列の光搬送波がそれぞれ入力されるn個の光強度変調器であって、各光強度変調器は、入力される2値電気信号により前記光搬送波を強度変調して2値光変調信号を出力するものである光強度変調器と、前記n個の光強度変調器から出力されるn系列の2値光変調信号間に光位相差を与える光位相調整手段と、前記光位相調整手段を介して得られるn系列の2値光変調信号を結合し、 2^n 値光変調信号を出力する光結合手段とを備え、前記光分配手段の分配比および前記光結合手段の結合比、および前記光位相差は、前記 2^n 値光変調信号を生成するためにあらかじめ設定されるものである多値光強度変調回路を提供する。前記光位相調整手段は、少なくとも1つの前記n個の光強度変調器の入力側もしくは出力側に置いて良い。

【0013】典型例として、 $n=2$ であり、前記光分配手段の光強度分配比は $a:1$ であり、前記光結合手段の光強度結合比は $b:1$ であり、 $a \cdot b = 2 \pm 8\%$ を満たし、2つの前記2値強度変調手段のいずれかの入力側か出力側に前記光位相調整手段が配置され、該光位相調整手段は2系列の前記2値光変調信号間の光位相差を $90 \pm 3\%$ に設定するものであり、前記光結合手段は前記2系列の2値光変調信号を結合して4値光変調信号を生成する構成がある。上記各多値光強度変調回路において、ニオブ酸リチウム(LN)基板上に集積して形成するとともに、前記光強度変調器としてマッハツェンダ型光強度変調器を用いるようにすることができる。

【0014】上記特許文献1(特開昭第63-5633号「光多値通信方式」)に開示された構成例では、異なる光源を用いて複数の2値光信号を生成した後に、これらを結合するが、異なる光源どうしの光位相関係はランダムなので、位相の調整が実質的に不可能であり、結合した際に干渉雑音を生じる。一方、本発明では一つの光搬送波を分岐して複数の光2値信号を生成するため、各信号間の位相差がそれぞれ一定になる。よって、各位相差は調整可能であり、結合の際に干渉雑音が生じない。さらに、光位相差、光強度比をあらかじめ適切な値に設定することにより、振幅歪を最小限に抑圧することができる。

【0015】上述のように、特許文献1開示の構成例では多値レベル数に応じた光源が必要になるため、各光源

毎に温度、電力を制御しなければならず、制御が複雑になるとともに、各光源毎の設置スペースも必要になる。一方、本発明では多値レベル数に関係なく光源が1つで済むため、システム構成が簡単になり制御も容易になる。また、従来の構成例では直接変調を行うため、変調速度の高速化に伴いチャープ(光波長の過渡的変動)が生じる。一方本発明では外部変調を行うためチャープが生じにくくなり、高速化にも適用できる。

【0016】また、上記特許文献2(特開平第10-209961号)に記載のシステムでは、電気信号に振幅歪みが生じている場合、出力光信号にも振幅歪みが射影・拡張される(上述の、「関連する技術」参照)。これに対し本発明では、電気信号に振幅歪みが生じていても、これを抑圧した出力波形を得る事ができる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いて本発明の各実施の形態を説明する。

(第1の実施形態)図1は、本発明の多値光強度変調回路の第1の実施形態を示す。ただし、光源10は変調回路の構成要素ではない。以下の実施形態でも同様に、光源以外の部分を変調回路の構成要素とする。また、光強度変調回路は光強度変調装置と称しても良い。

【0018】図において、光源10から出力された光搬送波は光分配器11で光強度が2分割され、それぞれ光強度変調器12a, 12bに入力される。一方、光強度変調器12a, 12bには、2つの入力端子14a, 14bから等しい光強度の2値電気信号がそれぞれ入力され、光搬送波を強度変調する。ここで生成される2つの2値光変調信号は、その一方が光位相・強度調整手段16に入力され、他方の信号に対して位相が $+90$ 度もしくは -90 度ずれる(即ち、直交する)とともに、強度が $1/2$ になるように調整される。

【0019】これにより2つの2値光変調信号の光強度比が $2:1 \pm 8\%$ に設定されて光結合器17で結合され、4値光変調信号として出力される。また、図1では、光位相・強度調整手段16を光強度変調器12bの後段に配置しているが、光強度変調器12bの前段に配置しても同様に動作する。また、光位相・強度調整手段16を光強度変調器12aの前段または後段に配置してもよい。

【0020】ここで、2つの2値光変調信号の位相差を 90 度に設定する理由を説明する。 2^n 値光強度変調回路で $n=2$ の場合において、各経路の電界強度を図10のように定義する。出力電界は、以下のように定義される。

【数1】

$$\vec{E} = E_1 e^{j\theta_1} + E_2 e^{j\theta_2}$$

従って、電界強度は、以下のように定義される。

【数2】

$$\begin{aligned}
|E|^2 &= (E_1 \cos \theta_1 + E_2 \cos \theta_2)^2 + (E_1 \sin \theta_1 + E_2 \sin \theta_2)^2 \\
&= E_1^2 \cos^2 \theta_1 + 2E_1 E_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + E_2^2 \cos^2 \theta_2 \\
&\quad + E_1^2 \sin^2 \theta_1 + 2E_1 E_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 + E_2^2 \sin^2 \theta_2 \\
&= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 (\cos \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \sin \theta_2) \\
&= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)
\end{aligned}$$

【0021】レベル1とレベル2はE1またはE2が0なので、上式より出力光パワーは位相差に関係なく一定であるが、レベル3は光結合器17で2つの2値光変調信号が結合するため、結合時の光信号間の位相差により出力パワーが変動する。上式からも、レベル3の光パワーが位相差に対し正弦波的に変動するのが分かる。各レベル間のレベル間隔が等間隔になるためには上式および図11より位相差が±90°でなければならない。

【0022】図2(a)～(e)に、本実施形態に関するシミュレーションにより求めた2つの2値電気信号(図2(a)、(b))、2つの2値光変調信号(図2(c)、(d))、4値光変調信号(図2(e))のアイパターンを示す。本実施形態では、光強度変調器12a、12bでは2値電気信号による光強度変調であるので、図2(c)、(d)に示すように、マーク(1)およびスペース(0)レベルの振幅歪みを抑圧でき、その上で2つの2値光変調信号の位相および光強度を調整して結合する。従って、図2(e)に示すように、4値光変調信号の各レベルの振幅歪みも抑圧することができる。

【0023】ここで、図2(a)～(e)および、前掲図8(a)～(d)のシミュレーションにおける2値電気信号は同一符号列で、アイ開口劣化はそれぞれ0.5dBである。このときの4値光変調信号のアイ開口劣化は、従来方式で2.2dBであるのに対して本発明方式では0.2dBとなり、大幅に波形劣化が改善されていることが確認された。ただし、4値光変調信号のアイ開口劣化は、各レベル間(レベル0-1、1-2、2-3)でアイ開口度を求め、最もアイ開口度が小さいものを最悪値として、

$10 \log_{10}(\text{アイ開口度の最悪値}/(1/3))$ [dB] として求めた。

【0024】次に、前掲図7で説明した従来の4値光強度変調回路において、出力4値光変調信号のアイ開口劣化が0.52dBとなる2値電気信号を、本実施形態の変調回路に入力し、強度調整量および位相差に誤差を与えてアイ開口劣化を計算して従来方式と比較し、本実施形態の方が優れた結果が得られる範囲(許容誤差)を求めた。まず、強度調整に関しては、図12のグラフから明らか

のように、光強度の減衰量(元の強度を1とした場合の割合)は0.5が最適値でアイ開口劣化が最小になるが、最適値から離れるに伴い(即ち、誤差が増加するに伴い)アイ開口劣化が大きくなる。減衰量が0.46～0.54の間で、本実施形態の方式の方が従来方式に比べてアイ開口劣化がより小さい。即ち、最適減衰量から±8%以内の誤差であれば、本実施形態の方式の方が優れた効果が得られる。

【0025】次に、位相調整に関しては、図13のグラフから明らかなように、位相変化量は90°が最適値でアイ開口劣化が最小になるが、最適値から離れるに伴いアイ開口劣化が大きくなる。減衰量が87～93°の間で、本実施形態の方式の方が従来方式に比べてアイ開口劣化がより小さい。即ち、最適位相変化量から±3%以内の誤差であれば、本実施形態の方式の方が優れた効果が得られる。

【0026】(第2の実施形態)図3は、本発明の多値光強度変調回路の第2の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第1の実施形態における光位相・強度調整手段16の機能を光位相調整手段21と光強度調整手段22に分割し、それぞれ光強度変調器12a、12bの後段に配置したところにある。なお、光位相調整手段21と光強度調整手段22の位置は、光強度変調器12a、12bの前後のいずれでもよく、また一方の光強度変調器側に配置してもよい。

【0027】光位相調整手段21としては、光路長を調整する構成や、光位相調整デバイスに位相調整バイアスを印加することにより位相調整を行う構成などを用いることができる。光強度調整手段22としては、例えば光強度を1/2に減衰させる固定減衰器でもよく、マッハツェンダ型干渉計のような可変減衰器(上記、非特許文献2参照)を用い、バイアス電圧の制御により光強度を調整するようにしてもよい。あるいは光カプラなどの光強度2分岐手段を用いてもよい。

【0028】(第3の実施形態)図4は、本発明の多値光強度変調回路の第3の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第2の実施形態における光分配器11、光強度調整手段22および光結合器17に代えて、分配比a:1の光分配器31および結合比b:1の光結合器32を

20

30

40

50

用いたところにある。ここで、a および b は、

$$a \cdot b = 2 \quad (\pm 8\%)$$

を満たす定数である。これにより、光強度変調器 12 a, 12 b から出力される 2 つの 2 値光変調信号の光強度比を $2:1 \pm 8\%$ に調整して結合し、4 値光変調信号を得ることができる。光位相調整手段 21 の位置は、光強度変調器 12 a, 12 b のいずれか一方かつ前後のいずれでもよい。

【0029】(第 4 の実施形態) 図 5 は、本発明の多値光強度変調回路の第 4 の実施形態を示す。図において、光源 10 から出力された光搬送波は光分配器 41 で光強度が 3 分割され、それぞれ光強度変調器 12 a, 12 b, 12 c に入力される。一方、光強度変調器 12 a, 12 b, 12 c には、3 つの入力端子 14 a, 14 b, 14 c から等しい光強度の 2 値電気信号がそれぞれ入力され、光搬送波を強度変調する。

【0030】光強度変調器 12 b, 12 c から出力される 2 値光変調信号は、光位相・強度調整手段 16 a, 16 b で位相が調整されるとともに、光強度が $1/2$ 、 $1 \cdot$

* $/4$ に減衰される。これらの信号は、光強度変調器 12 a から出力される 2 値光変調信号とともに光結合器 42 で結合され、8 値光変調信号として出力される。

【0031】この場合に位相調整手段において与える位相差の一例を以下に示す。光結合器 42 が、始めに光強度変調器 12 a と光位相・強度調整手段 16 a との出力を結合し、次にそれと光位相・強度調整手段 16 b とを結合する構成において (図 14 に示す、この場合の光結合器 42 の概略構成を参照)、光強度変調器 12 a の出力光の位相を 0° とした場合の相対位相として、光位相・強度調整手段 16 a の出力光位相を 90° とし、光強度位相・強度調整手段 16 b の出力光位相は、出力レベルが 0 から 7 の 8 値のうち 3 の場合に 180° 、5 の場合に 90° 、7 の場合に 135° となるように動的に設定する。このような動的設定について、以下に更に詳しく説明する。表 1 は、8 値光変調信号の複数の出力レベルと調整される位相量との関係を示す図である。

【0032】

【表 1】

第 1 列	第 2 列			第 3 列		第 4 列
出力レベル	2 値光変調信号			光強度変調器 12a および光位相・強度調整手段 16a の出力の合成信号		合成信号と光位相・強度調整手段 16b からの信号の位相が直交するための、手段 16b からの信号の位相条件
	光強度変調器 12a の出力	光位相・強度調整手段 16a の出力	光位相・強度調整手段 16b の出力	レベル	位相	
0	0	0	0	0	0°	
1	0	0	1	0	0°	
2	0	1	0	2	90°	
3	0	1	1	2	90°	180°
4	1	0	0	4	0°	
5	1	0	1	4	0°	90°
6	1	1	0	6	45°	
7	1	1	1	6	45°	135°

【0033】表 1 において、第 1、2 列では、3 つの出力信号 (即ち、光強度変調器 12 a、光位相・強度調整手段 16 a、16 b からの 3 つの 2 値光変調信号) の各出力レベルにおける出力レベル値を示している。第 3 列では、光強度変調器 12 a からの信号と光位相・強度調整手段 16 a からの信号とを光結合器 42 により結合されて得られた合成信号の、各出力レベルにおけるレベル値と位相とを示している。

【0034】この合成信号と光位相・強度調整手段 16 b からの出力信号が更に結合される際、各レベル間のレベル間隔が等しくなるためには、両信号の位相が直交しなければならない。この条件は、光位相・強度調整手段 16 b が、レベル 3、レベル 5、レベル 7 にそれぞれ上述した位相値 180° 、 90° 、 135° を割り当てた場合に満たされる。ここで他のレベルでは、合成信号または光位相・強度調整手段 16 b の出力のどちらか一方の出力レベル値が 0 であるため、位相差を考慮しなくていい。

【0035】なお、光位相・強度調整手段 16 a, 16 b の位置は光強度変調器 14 b, 14 c の前後いずれでもよく、また第 2 の実施形態のように光位相調整手段と光強度調整手段に分離して配置してもよい。さらに、光分配器 41 および光結合器 42 として、第 3 の実施形態に示したように所定の分配比、結合比を設定できるものを用いても良い。特に、3 つの 2 値光変調信号が $4:2:1$ で結合されるようにすれば、光強度調整手段は不要となる。

【0036】一般に、光分配器 41 および光結合器 42 として n 分配、n 結合のものを用い、n 個の光強度変調器と光位相・強度調整手段を組合せ、出力値に応じた位相調整を行い、光強度を $1:2:\dots:2^{n-1}$ に設定することにより、n 個の 2 値光変調信号から 2^n 値光変調信号を生成することができる。なお、 2^n 値光変調信号の各レベル間隔は、光強度調整手段に入力する (n-1) 系列の入力光の光強度を調整して設定される。

【0037】（第5の実施形態）図6は、本発明の多値光強度変調回路の第5の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、4値光変調信号を生成する第2の実施形態の構成において、LN基板51上に、光分配器11、マッハツェンダ型光強度変調器52a、52b、光位相調整手段21、光強度調整手段22、光結合器17を形成し、それらの間を光導波路で接続したところにある。

【0038】マッハツェンダ型光強度変調器52a、52bには、入力端子14a、14bから等しい光強度の2値電気信号がそれぞれ入力され（符号500は、変調信号が印加される電極を示す）、光分配器11で2分配された各光搬送波を強度変調する。バイアス端子53a、53bから印加されるDCバイアスは、それぞれ、入力端子14a、14bから入力される電気信号がゼロの時に、マッハツェンダ型光強度変調器52a、52bの出力光強度がほぼゼロとなるように設定される。

【0039】光位相調整手段21では、光路長を調整する構成か、光位相調整デバイスに位相調整バイアスを印加することにより位相調整を行う構成が用いられる（この場合、端子55aから位相調整バイアスを印加）。また、光強度調整手段22では、マッハツェンダ型干渉計のような可変減衰器を用いる場合には、バイアス電圧の制御により光強度を調整する（この場合、端子55bから強度調整バイアスを印加）。

【0040】

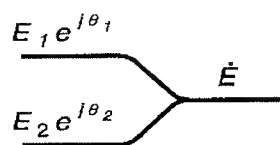
【発明の効果】本発明によれば、複数の2値電気信号からそれぞれ2値光変調信号を生成し、その複数の2値光変調信号の位相と光強度を調整して結合することにより、多値光変調信号を生成することができる。これにより、2値光変調信号におけるマークとスペースレベルの振幅歪みの抑圧を活かし、多値光変調信号の全レベル値の振幅歪みを抑圧することができる。

【図面の簡単な説明】

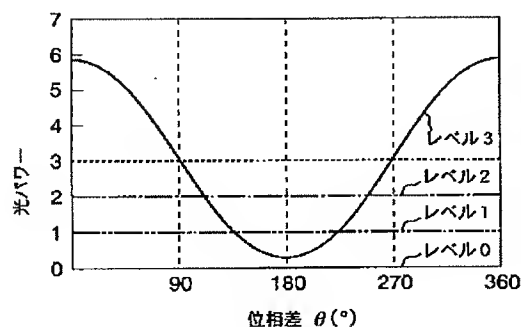
【図1】 本発明の多値光強度変調装置の第1の実施形態を示すブロック図である。

【図2】 第1の実施形態における2値電気信号から4値光変調信号の生成過程を示す図である。

【図10】



【図11】



【図3】 本発明の多値光強度変調装置の第2の実施形態を示すブロック図である。

【図4】 本発明の多値光強度変調装置の第3の実施形態を示すブロック図である。

【図5】 本発明の多値光強度変調装置の第4の実施形態を示すブロック図である。

【図6】 本発明の多値光強度変調装置の第5の実施形態を示すブロック図である。

【図7】 従来の多値（4値）光強度変調装置の構成例を示すブロック図である。

【図8】 従来の構成における2値電気信号から4値光変調信号の生成過程を示す図である。

【図9】 マッハツェンダ型光強度変調器の入力電圧対出力光強度特性を示す図である。

【図10】 2つの2値光変調信号の経路の入出力電解の定義を示す図である。

【図11】 各レベルの光パワーと位相差との関係を示すグラフである。

【図12】 光減衰量の誤差とアイ開口劣化との関係を示すグラフである。

【図13】 位相変化量の誤差とアイ開口劣化との関係を示すグラフである。

【図14】 図5の光結合器42の概略構成例を示す図である。

【符号の説明】

10 光源

11, 41 光分配器

12a～12c 光強度変調器

14a, 14b 入力端子

16 光位相・強度調整手段

17, 42 光結合器

21 光位相調整手段

22 光強度調整手段

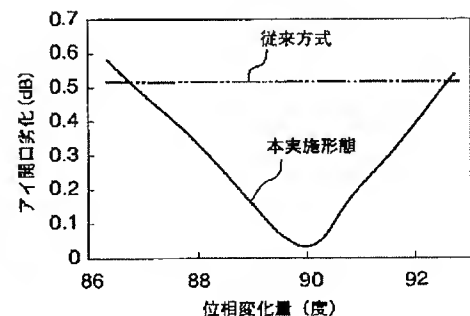
31 光分配器（分配比a：1）

32 光結合器（結合比b：1）

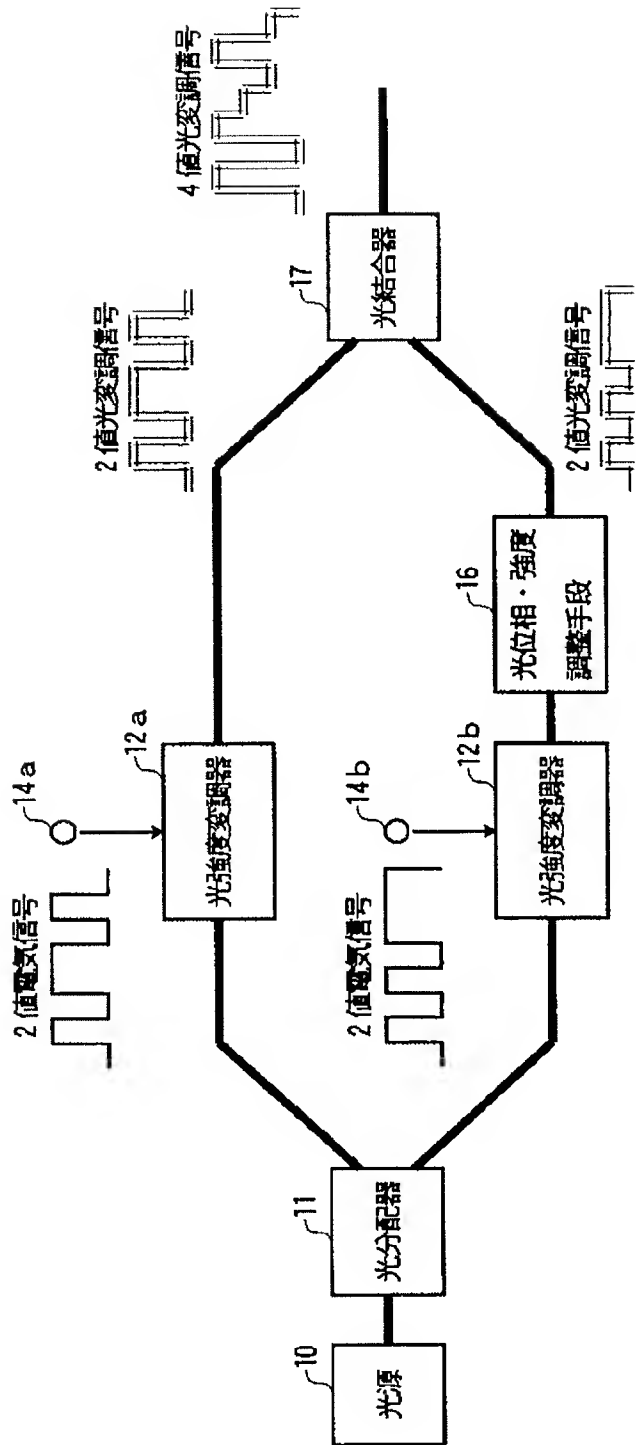
51 LN基板

52a, 52b マッハツェンダ型光強度変調器

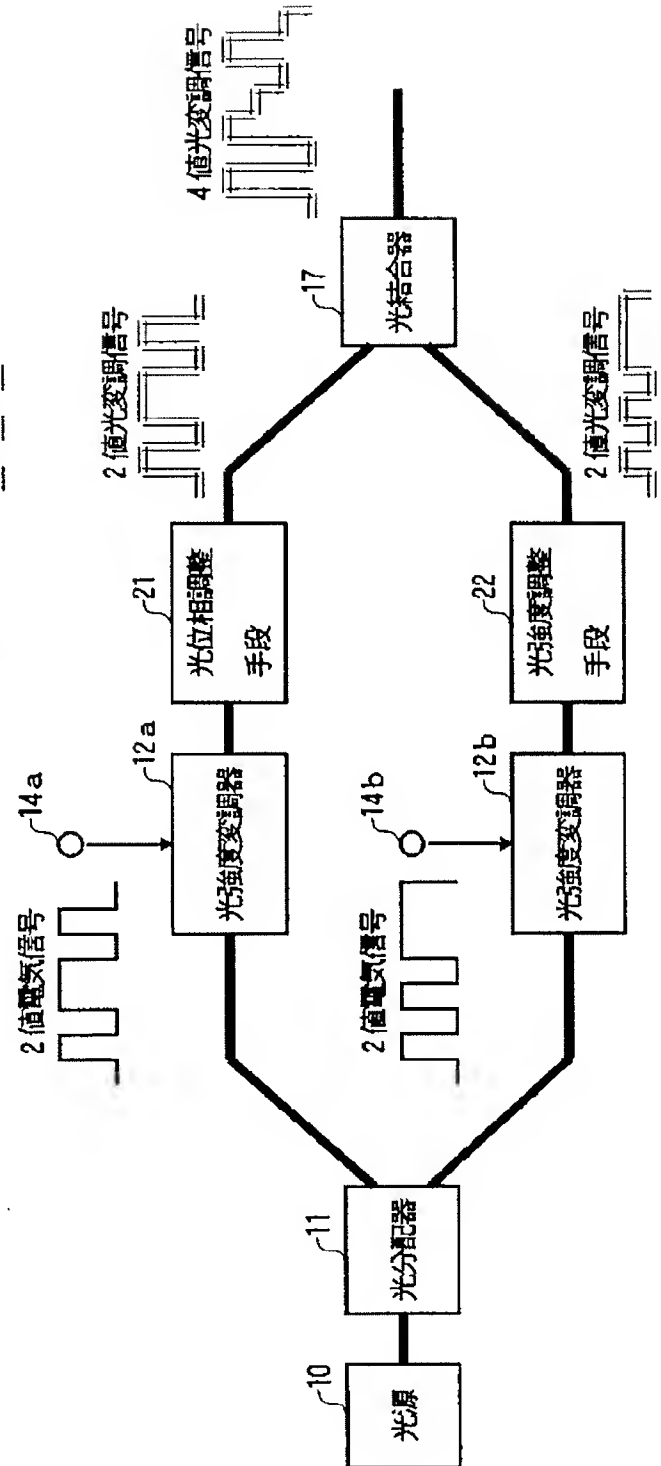
【図13】



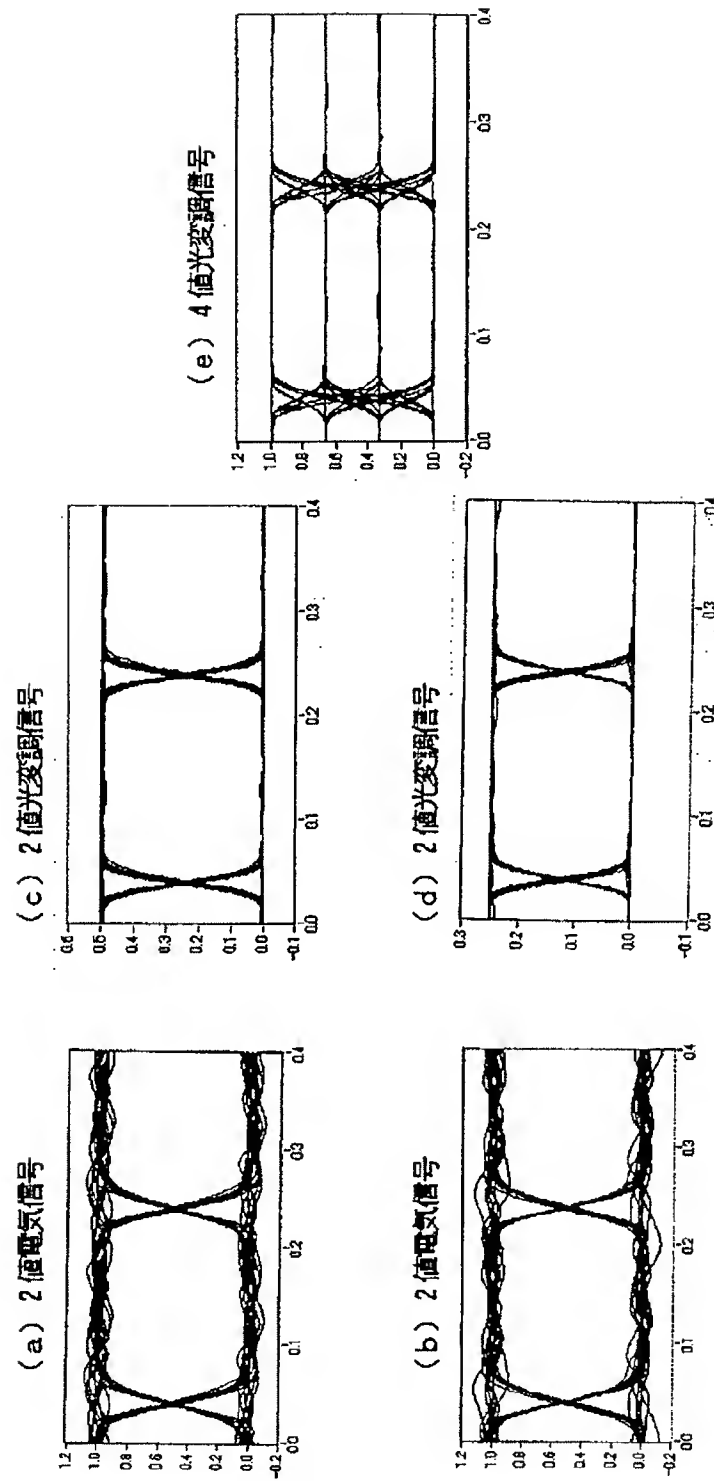
【図1】



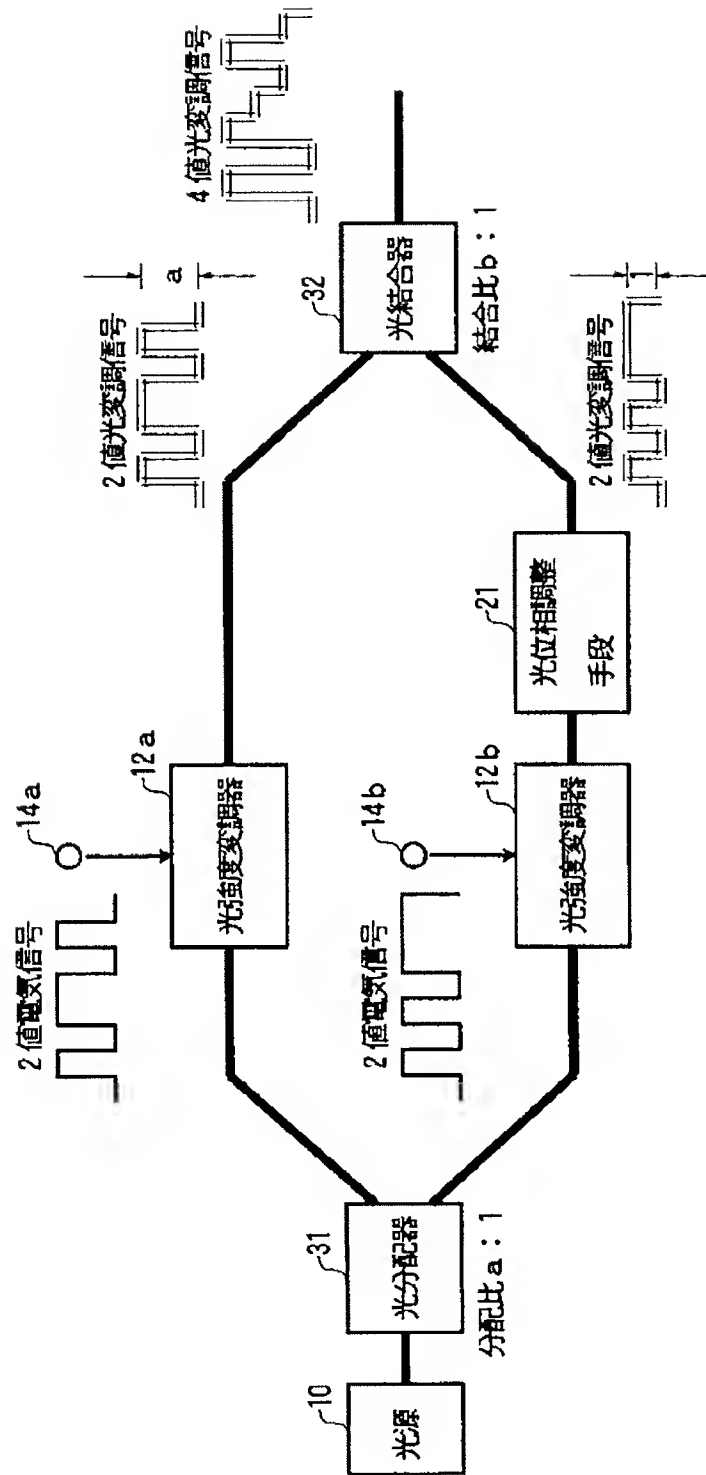
【図3】



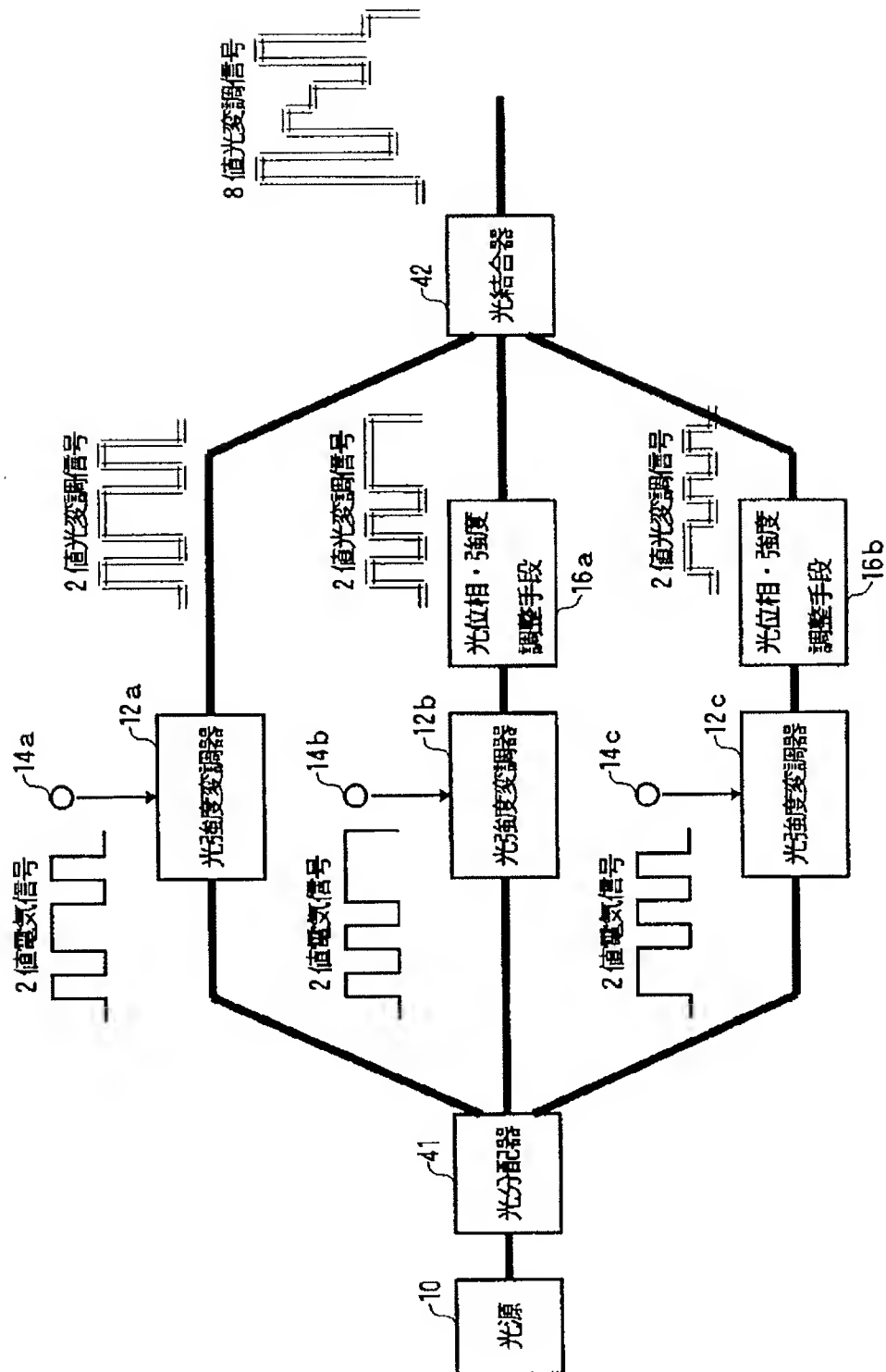
【図2】



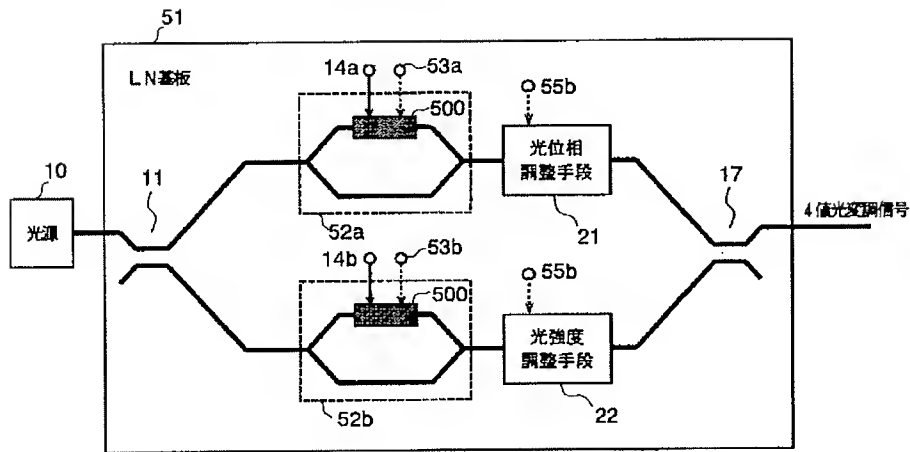
【図4】



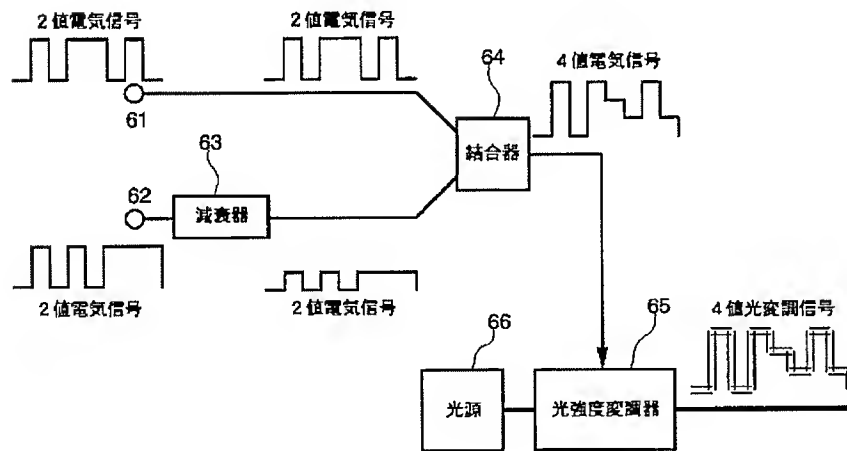
【図5】



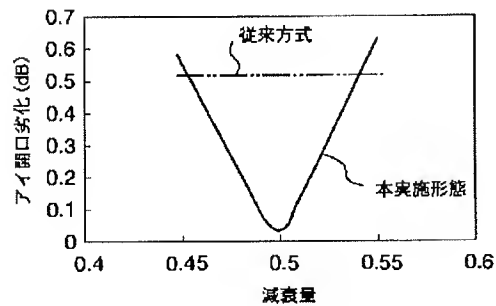
【図6】



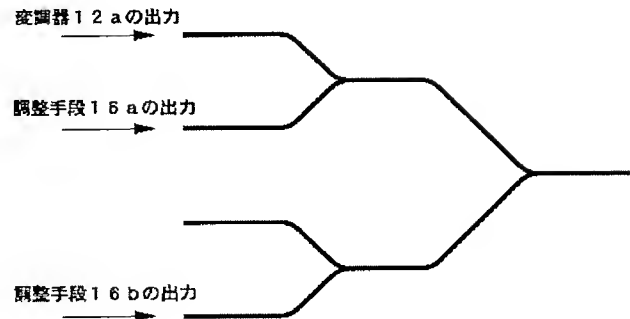
【図7】



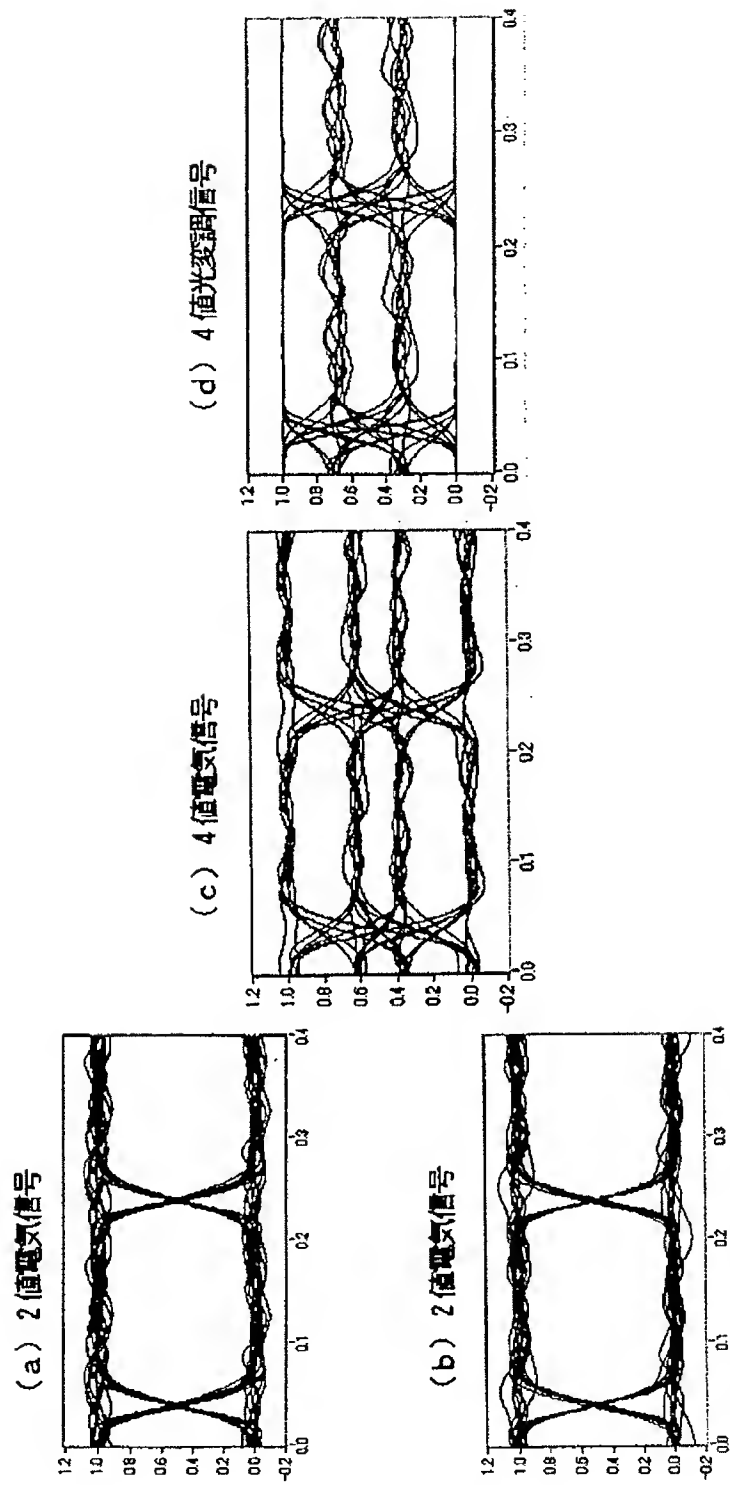
【図12】



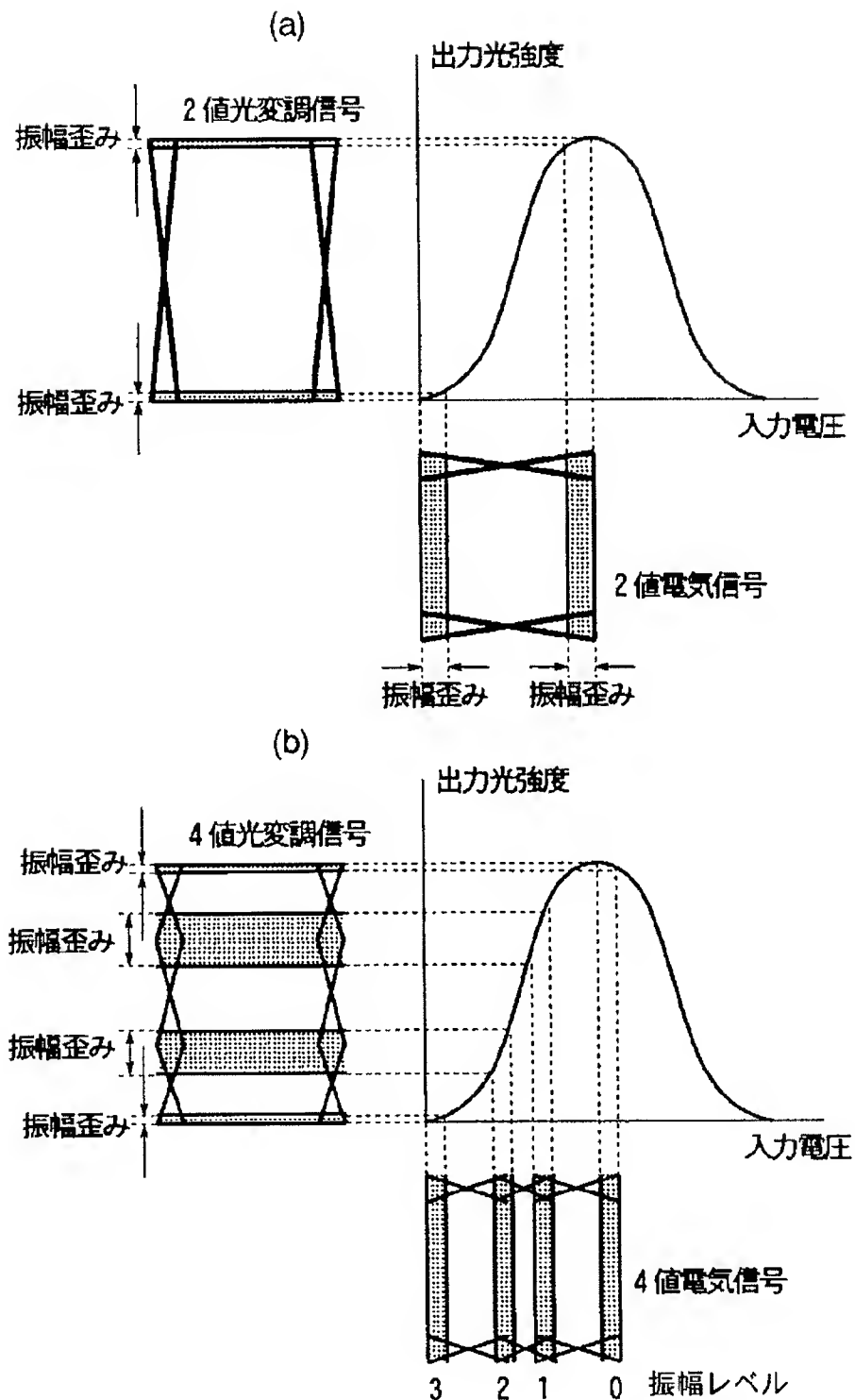
【図14】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

G 0 2 F 1/03
1/035

識別記号

5 0 5

F I

G 0 2 F 1/035
H 0 4 B 9/00

テ-マ-ド (参考)

L

H O 4 B 10/02
10/06
10/142
10/152
10/18

M

(72) 発明者 手島 光啓
東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日
本電信電話株式会社内
(72) 発明者 高知尾 昇
東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日
本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2H079 AA02 AA12 AA13 BA01 BA03
CA04 DA03 EA05 FA03 GA01
GA03
5K102 AA01 AA61 AH24 AH26 KA19
KA42 PH02 PH42 PH49 PH50
RB01